

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-232248

(43)Date of publication of application : 22.08.2000

(51)Int. Cl.

H01S 3/094

H01S 3/067

H01S 3/10

(21)Application number : 11-033524

(71)Applicant : FUJIKURA LTD

(22)Date of filing : 10.02.1999

(72)Inventor : YAMAUCHI RYOZO

WADA AKIRA

NISHIDE KENJI

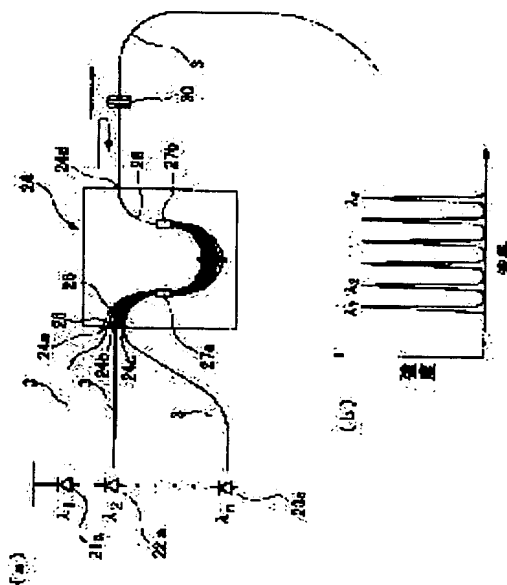
YAMAZAKI SHIGEFUMI

(54) MULTI-WAVELENGTH EXCITING LIGHT MULTIPLEXING DEVICE, AND MULTI-WAVELENGTH EXCITING LIGHT SOURCE AND OPTICAL AMPLIFIER INCOOPERATING THE DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a multi-wavelength exciting light multiplexing device which is capable of outputting an exciting light of high power and lessening control of wavelength accuracy and temperature of component parts and a light source and an optical amplifier which incorporate the multiplexing device.

SOLUTION: An optical multiplexer 24 is equipped with input terminals 24a, 24b, 24c,... and possessed of a function to multiplex light of wavelengths  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ . A reflecting device 30 which reflects a multiplexed light at a low reflectance is inserted near the output side of the output terminal 24d of the optical multiplexer 24 to form a multi-wavelength exciting light source multiplexing devices, lasers 21a, 22a, 23a,... are each connected to the input terminals 24a, 24b, 24c,... of the optical multiplexer 24 to form a multi-wavelength exciting light source, and the multi-wavelength exciting light source is built in to form an optical amplifier.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 04.12.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application]

other than the examiner's decision of  
rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998, 2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-232248  
(P2000-232248A)

(43) 公開日 平成12年8月22日 (2000.8.22)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード* (参考)
H 0 1 S 3/094		H 0 1 S 3/094	S 5 F 0 7 2
3/067		3/06	B
3/10		3/10	Z

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平11-33524

(22) 出願日 平成11年2月10日 (1999.2.10)

(71) 出願人 000005186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(72) 発明者 山内 良三

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉工場内

(72) 発明者 和田 朗

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉工場内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外3名)

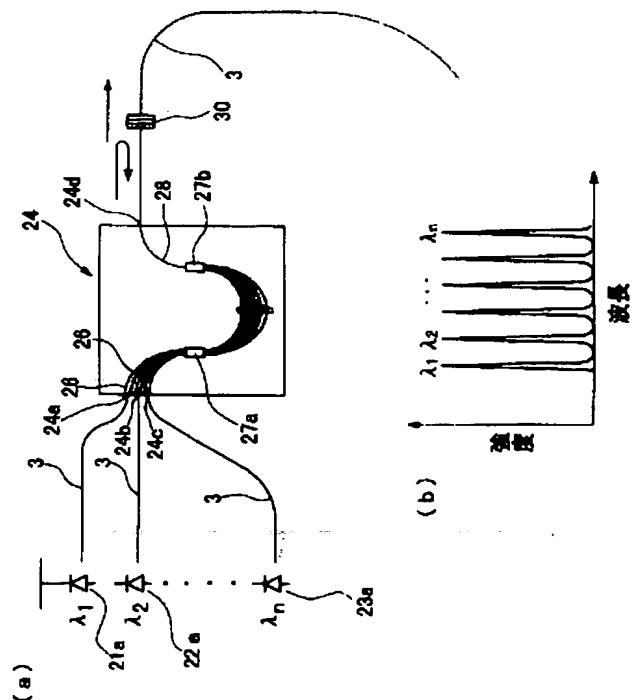
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多波長励起光合波用デバイスおよびこの多波長励起光合波用デバイスを組み込んだ多波長励起用光源と光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 高出力の励起光を出力でき、構成部品の波長精度や温度制御を軽減できる多波長励起光合波用デバイスおよびこの多波長励起光合波用デバイスを組み込んだ光源と光増幅器を提供する。

【解決手段】 複数の入力端子 24a, 24b, ..., 24c を有し、複数の波長  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  の光を合波する機能を有する光合波素子 24 の出力端子 24d の出力側近傍に、当該合波光を低反射率で反射する反射素子 30 を挿入して多波長励起光源合波用デバイスを構成し、前記光合波素子 24 の入力端子 24a, 24b, ..., 24c に、それぞれレーザ 21a, 22a, ..., 23a を接続して多波長励起用光源を構成し、これを組み込んで光増幅器を構成する。



## 1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 2つ以上の入力端子を有し、異なる 2つ以上の波長の光を合波する機能を有する光合波素子の出力端子の出力側近傍に、当該合波光を低反射率で反射する反射素子を挿入したことを特徴とする多波長励起光合波用デバイス。

【請求項 2】 請求項 1 記載の多波長励起光合波用デバイスの光合波素子の入力端子に、それぞれレーザを接続したことを特徴とする多波長励起用光源。

【請求項 3】 請求項 2 記載の多波長励起用光源を組み込んだことを特徴とする光増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ通信、光計測、レーザ加工などに使用する光増幅器および、そのレーザ用の励起光源に関し、より高出力の製品を得るための手段を提供するものである。

## 【0002】

【従来の技術】図 7 (a) は従来の長距離用光ファイバ通信システムの一例を示した概略構成図である。この図に示したように、従来の通信システムにおいては、送信機 1 と受信機 2 とを結ぶ光ファイバ 3 の途中で、数十 km 毎に再生中継器 4、4 によって光信号を光・電気変換した後、電気・光変換する再生中継を繰り返す必要があった。図 7 (b) はこの再生中継器 4 の構成の一例を示したもので、送信機 1 側の光ファイバ 3 からの光信号が、光検出器 5、波形整形回路 6、レーザ用ドライバ 7、レーザ 8 を介することにより、光・電気変換され、さらに電気・光変換されて受信機 2 側の光ファイバ 3 に送られる。

【0003】さらに近年は、光技術の進歩によって高出力のレーザが安価に得られるようになった。このため、図 8 (a) に示したように、送信機 1 と受信機 2 との間の光ファイバ 3 の途中で光増幅器 10 を挿入し、この光増幅器 10 によって光信号を直接的に増幅する長距離用光ファイバ通信システムが実用化された。

【0004】図 8 (b) は光増幅器 10 の構成の一例を示したものである。この光増幅器 10 において、希土類添加光ファイバ 11 は実際に増幅を行う活性媒質である。そして、この希土類添加光ファイバ 11 の手前に設けられた光合波素子 12 に接続された光ファイバ 13 を介して、レーザ (励起光源) 14 から前記希土類添加光ファイバ 11 に励起光を入力することによって光信号が増幅され、この増幅された光信号が希土類添加光ファイバ 11 から出力される。なお、希土類添加光ファイバ 11 の後方側のアイソレータ 15 は、戻り光を阻止してレーザ 14 の動作を安定させるために設けられている。このような光増幅器の実用化によって、減衰した光信号を直接増幅し、数千 km の伝送であっても再生中継を行わない伝送が可能となった。

## 2

【0005】現在の光ファイバ通信において、希土類添加光ファイバ 11 としては、効率が高いことで知られている 1.5  $\mu\text{m}$  帯増幅用エルビウム添加光ファイバが主に用いられている。希土類添加光ファイバ 11 を構成する希土類元素は、その種類によって異なる吸収スペクトルを有する。例えばエルビウム添加光ファイバは、図 9 に示したように 980 nm と 1480 nm 帯付近に比較的広い波長幅の吸収スペクトルを有している。よって、

1.5  $\mu\text{m}$  帯増幅用エルビウム添加光ファイバ増幅器 (以下、EDFA と略記する) においては、一般に 0.98  $\mu\text{m}$  付近または 1.48  $\mu\text{m}$  付近の励起光によって 1.5  $\mu\text{m}$  帯の光信号を増幅することができる。また、励起光を発振するレーザ 14 としては、一般に半導体レーザが用いられる。中でも比較的安価にパワーが得られるファブリペロ型半導体レーザ (以下、ファブリペロレーザと示す) が主に使用されている。

【0006】一方、複数の波長の信号光を多重伝送する波長多重方式の光ファイバ通信システムが実用化され、光ファイバ 1 本で伝送可能な情報量をさらに増大させることができるようになった。図 8 (a) に示した光通信システムにて波長多重通信を行う場合、光ファイバ増幅器 10 に要求される出力は、1 波を伝送する場合と比べて大きくなる。そのため、レーザ 14 から供給される励起光のパワーも、より大きなものが要求されるようになってきた。

【0007】励起光の総合的なパワーを増大させる方法としては、例えばレーザの出力を増大させる方法が考えられる。しかし、一般のレーザの出力は限られているため、限界があり、十分な効果は得られない。

【0008】そこで、以下のような方法が考えられる。すなわち、複数のレーザを用意する。これらのレーザは、希土類添加光ファイバ中の希土類元素を励起可能な波長帯の光を発振し、かつそれぞれの発振波長が若干ずつ異なるものである。そして、これらのレーザから出力した光を合波し、この合波光を励起光とする。例えば、EDFA における 1.48  $\mu\text{m}$  付近の励起波長幅は、図 9 に示したように、1.45 ~ 1.49  $\mu\text{m}$  程度、0.98  $\mu\text{m}$  付近の励起波長幅は数 nm 程度であり、比較的広い。よって、これらの波長帯内の複数の異なる波長の光を合波すると、これら複数の光のパワーの合計が励起光のパワーとなる。すなわち、レーザを n 個用意すると、ひとつのレーザを用いた場合と比較して、理論的には (合波時などに損失がないものとすれば) n 倍のパワーが得られることになる。

【0009】しかし、レーザ 14 として一般に用いられているファブリペロレーザの発振波長には、図 10 に示したように多くの縦モードが存在しており、前記発振波長は 15 ~ 20 nm 程度の広い波長幅を有している。このように広い波長幅を有する複数の光の合波は一般に困難である。ただし、ファブリペロレーザから出力される

## 3

光においては、偏波が保存されているため、直行 2 偏波を合波して 2 倍のパワーの励起光を得る方法は行われている。しかし、この方法でも理論上、通常の 2 倍をこえるパワーの励起光を得ることはできない。さらに、あまり発振波長幅の広い光を合波すると、合波光の波長帯幅が前記励起波長帯からはみ出し、励起光としての効果が低減する。

【0010】そこで、以下のような方法が考えられている。まず、図 11 (a) に示したように、ファブリペロレーザ 20a の後方に、特定の狭い波長帯の光を低反射率で反射する反射素子 20b (外部共振器) を取り付けると、このファブリペロレーザ 20a と反射素子 20b との組み合わせは、ファブリペロレーザの一方の反射面を DBR (分布ブラッグ反射器) で置き換えた構造の、いわゆる分布ブラッグ反射素子レーザ (DBR レーザ) と同様の構成となる。つまり、反射素子 20b によって選択的に反射される波長帯の光のみが発振するレーザ発振素子 20 が構成される。そして、反射素子 20b を経て得られる光は、結果的に図 11 (b) に示したように狭スペクトル化される。

【0011】図 12 (a) は、このようなファブリペロレーザと反射素子とからなるレーザ発振素子を用いた波長多重方式の多波長励起用光源の一例と、これを組み込んだ光増幅器の構成を示したもので、この光増幅器を波長多重伝送方式による光通信システムに適用した例を示した概略構成図である。すなわち、上述のレーザ発振素子を  $n$  個用意する。符号 21 は波長  $\lambda_1$  を中心とする狭帯域の光を発振するレーザ発振素子であり、このレーザ発振素子 21 はファブリペロレーザ 21a と反射素子 21b とから構成されている。同様に波長  $\lambda_2$  を中心とする光を発振するレーザ発振素子 22 はファブリペロレーザ 22a と反射素子 22b とから構成されている。また、 $n$  番目のレーザ発振素子 23 は、ファブリペロレーザ 23a と反射素子 23b とからなり、波長  $\lambda_n$  を中心とする光を発振するものである。これらレーザ発振素子 21, 22, 23 の発振波長  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$  は適当な波長間隔で異なるように設定されている。

【0012】希土類添加光ファイバ 11 としてエルビウム添加光ファイバを用いる場合は、980nm 帯または 1480nm 帯の励起波長帯に、所定間隔で異なる発振波長を有するレーザ発振素子を複数用意し、図 12

(a) に示したような光増幅器を構成する。

【0013】この多波長励起用光源においては、これらのレーザ発振素子 21, 22, ..., 23 から発振した光が、それぞれ光合波素子 24 の入力端子 24a, 24b, ..., 24c に入力し、合波素子 24 にて合波され、その出力端子 24d から出力される。そして、この合波光においては、図 12 (b) に示したように、波長幅の狭い  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  の複数のピークが並列した波長スペクトルが得られる。この合波光のパワーは、これらの

## 4

ピークのそれぞれのパワーの合計となる。そして、この合波光を光合波素子 12 を介して希土類添加光ファイバ 11 に入力することにより、伝送用の光ファイバ 3 を波長多重方式によって伝搬して希土類添加光ファイバ 11 に入力した  $\lambda_1', \lambda_2', \dots, \lambda_n'$  の光信号が、前記合波光による励起効果によって増幅される。

【0014】図 13 は、図 12 に示した光合波素子 24 の一例として、アレイド・ウェーブガイド・グレーティング (Arrayed Waveguide Grating: AWG) 形光合波回路と呼ばれる合波素子を示したものである (以下、AWG と略記する)。すなわち、この AWG は、基板 25 上に複数の略 U 字状のアレイ導波路 26, 26... が略平行に設けられている。これらのアレイ導波路 26... は、隣接するアレイ導波路 26 どうしの導波路差 (光路長差) が  $\Delta L$  に設定されている。これらのアレイ導波路 26... の入力側と出力側には、複数のアレイ導波路 26... を導波する光が干渉するスラブ導波路 27a, 27b が設けられている。そして、出力側のスラブ導波路 27b よりも後方には 1 本の導波路 28 が設けられている。すなわち、この AWG においては、アレイ導波路 26... の入力側の端部が複数の入力端子 24a, 24b, 24c... であり、導波路 28 の出力側の端部が出力端子 24d となっている。

【0015】そして、入力端子 24a, 24b... からそれぞれのアレイ導波路 26... に入力した波長  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  の光は、入力側のスラブ導波路 27a にて、このスラブ導波路 27a よりも後方のアレイ導波路 26... に分配される。そして、これらのアレイ導波路 26... を通るうちに導波路差を生じ、出力側のスラブ導波路 27b にてこれらの光が干渉して合波され、導波路 28 を経て出力端子 24d から出力するようになっている。

【0016】前記基板 25 としてはシリコン基板などが用いられる。そして、この AWG は、例えば、シリコン基板上に石英薄膜層を設け、この石英薄膜層に導波路パターンに従ってゲルマニウムをドーピングして作製することができる。AWG は高分解能の分光特性を有するため、上述のような波長多重方式に好適である。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図 12 (a) に示した、複数の異なる波長の光を合波する方式においては、以下のような問題点があった。第 1 の問題は反射素子 21b, 22b, ..., 23b に高い波長精度が要求されることである。これは、レーザ発振素子 21, 22, ..., 23 毎に発振波長を厳密に合わせる必要があるためである。そして、反射素子 21b... の波長精度が低いと発振波長が安定せず、大きなパワーの合波光が得られない。

【0018】例えば、EDFA を構成するにあたり、励起波長帯として 980nm 帯を利用する場合、例えば、具体的には、それぞれ 977nm, 978.5nm, 9

80 nm、981.5 nmの反射波長特性を有する複数の反射素子21b、…、23bを用意し、それぞれのレーザ発振素子21、…、23の発振波長を合わせなければならない。すなわち、複数のレーザ発振素子21、…、23の発振波長が近接しているため、反射素子21b、…、23bに対してかなりの高精度が要求される。

【0019】第2の問題は、第1の問題に加えて、レーザ発振素子21、…、23の発振波長は、これらの発振波長を合波する光合波素子24の透過波長特性と合致していなければならないことである。これらが合致していなければ、レーザ発振素子21、…、23から発振した光は光合波素子24において減衰し、光合波素子24の出力側に高効率で伝達されない。しかもこの現象は相対的なものであり、上述の(1)の問題が解決されており、レーザ発振素子21、…、23のそれぞれの発振波長が安定であっても、光合波素子24の透過波長が変動すれば、光合波素子24において光が減衰し、合波光のパワーは大きく変化する。

【0020】しかしながら、光合波素子24として好適な図13に示したAWGの透過波長特性の温度依存性は意外に大きい。現実には、AWGの透過波長特性は、例えば0.013 nm/°Cの温度依存性を有している。したがって、AWGの温度補償を行わない場合、使用温度環境が温度幅で50°C変化すると、0.65 nmだけ透過波長が波長軸と平行にシフトする。すると、AWGの透過波長がレーザ発振素子21、…、23の発振波長と食い違い、AWGにおける透過損失が急激に増大してしまう。したがって、AWGの精密な温度補償が必要であった。温度依存性の問題はAWGにおいて顕著であるが、一般に他の光合波素子も温度依存性を有しているため、同様の問題が発生した。

【0021】一方、ファブリペロレーザ21a、…、23aの発振波長自体も、温度制御しない場合、例えば0°Cから40°Cに温度が変化すると、その中心波長が10 nm以上変化することが知られている。したがって、反射素子21b、…、23bの反射波長および光合波素子24の透過波長と、ファブリペロレーザ21a、…、23aの発振波長とを合致させるためには、ファブリペロレーザ21a、…、23aの厳密な温度補償も必要であった。

【0022】また、光通信分野のみならず、光計測、レーザ加工などに使用する光増幅器およびそのレーザ用の励起光源にいても、このような高出力のものが求められている。

【0023】本発明は前記事情に鑑みてなされたもので、高出力の励起光を出力できる多波長励起光合波用デバイスおよびこの多波長励起光合波用デバイスを組み込んだ光源と光増幅器であって、温度変化に対して特性が変化しにくいものを提供することを課題とする。さらに、従来よりも構成部品に高い波長精度が要求されない

ものを提供することを課題とする。そして、構成部品の温度制御を軽減できる、多波長励起光合波用デバイスおよびこの多波長励起光合波用デバイスを組み込んだ光源と光増幅器を提供することを目的とする。

#### 【0024】

【課題を解決するための手段】本発明においては、前記課題を解決するために以下のような解決手段を提案する。すなわち、第1の発明は2つ以上の入力端子を有し、異なる2つ以上の波長の光を合波する機能を有する光合波素子の出力端子の出力側近傍に、当該合波光を低反射率で反射する反射素子を挿入したことを特徴とする多波長励起光合波用デバイスである。第2の発明は、第1の発明の多波長励起光合波用デバイスの光合波素子の入力端子に、それぞれレーザを接続したことを特徴とする多波長励起用光源である。第3の発明は、第2の発明の多波長励起用光源を組み込んだことを特徴とする光増幅器である。

#### 【0025】

【発明の実施の形態】図1(a)は本発明の多波長励起光合波用デバイスと、これを組み込んだ多波長励起用光源(レーザ発振素子)の実施形態例を示したものである。図12(a)、図12(b)、図13に示したものと同様の構成には同符号を付して説明を省略する。すなわち、この多波長励起用光源は、光合波素子24と、その出力端子24dに接続された光ファイバ3の途中に挿入された反射素子(反射素子)30とからなる多波長励起光合波用デバイスと、この光合波素子24のn個のアレイ導波路26…の入力端子24a、24b、…、24cのそれぞれに、光ファイバ(ピグテイル)3…を介して接続されたn個のファブリペロレーザ21a、22b、…、23bとから構成されている。前記多波長励起光合波用デバイスにおいて、反射素子30は光合波素子24の出力端子24dの出力側近傍に設けられていればよく、光合波素子24と反射素子30との距離は特に限定されない。例えば出力端子24dと反射素子30との距離が3 m以下程度であると好ましい。

【0026】また、この例において、光源はファブリペロレーザ21a、22a、…、23aを用いているが、縦モードに関する多モードレーザであって、目的とする励起波長帯の光を発振できる半導体レーザであればファブリペロレーザに限定することはない。この例のファブリペロレーザ21a、…、23aは、EDFAの励起波長帯である1460~1490 nm帯に対応した発振波長を有するものが用いられている。また、光合波素子24は図13に示したAWGと同様のものであって、比較的高密度の波長多重が可能なのである。この例のAWGは、図2に示したような波長-損失特性を有している。すなわち、それぞれのアレイ導波路26…は特定の狭い波長帯の光が透過するものであって、1460~1490 nmの励起波長帯において、これら複数のアレイ

導波路 26…の透過光の波長  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  が、所定間隔ずつ異なっている。この例において、具体的には、1470nm を中心に各波長間隔が約 1.6nm に設定されている。

【0027】反射素子 30 は上述の励起波長帯の光を比較的低い反射率で反射するものである。反射素子 30 の反射率はレーザ（ファブリペロレーザ 21a, …, 23a）の特性により決定すべきものである。例えば、図 8（b）に示したような構成の E D F A の励起に使用する 980nm 帯、1480nm 帯の波長域の光を発振するファブリペロレーザの場合、2～10% 程度の反射率に設定すると適当な解が与えられる。この例において、反射器 30 としては、図 3 に示した誘電体多層膜からなる多層膜干渉フィルタ 31 を用い、1460～1480nm 付近で、ほぼ 5% の反射率が得られるものである。

【0028】ここで、光合波素子（AWG）24 のひとつのアレイ導波路 26 と、その入力端子 24a に接続されたひとつのファブリペロレーザ 21a に着目して説明する。このアレイ導波路 26 においては、波長  $\lambda_1$  を中心とする狭帯域の光のみが透過するようになっている。ファブリペロレーザ 21a からひとつのアレイ導波路 26 に、波長幅の広い光を入射すると、このアレイ導波路 26 に割り当てられている波長  $\lambda_1$  の光のみが反射素子 30 にむかって出力される。そして、この特定波長  $\lambda_1$  の光は、反射素子 30 において、比較的、低反射率で反射する。

【0029】アレイ導波路 26 を透過する光は、入力側から出力側に向かう場合と出力側から入力側に向かう場合とにおいて同じ波長が選択されるので、前記反射光は出力端子 24d から光合波素子 24 に入射し、同じアレイ導波路 26 を透過してファブリペロレーザ 21a に至る。そして、ファブリペロレーザ 21a からは、前記反射光の波長  $\lambda_1$  に対応した光が発振される。

【0030】すなわち、この多波長励起用光源においては、アレイ導波路 26 を透過する波長が、ファブリペロレーザ 21a から発振する光の波長（発振波長）になる。この作用は、2 番目のファブリペロレーザ 22a, …, n 番目のファブリペロレーザ 23a においてそれぞれ同様であって、これらが接続されたアレイ導波路 26 …のそれぞれを透過する波長  $\lambda_2, \dots, \lambda_n$  によって、ファブリペロレーザ 22a, …, 23a の発振波長が決定される。このため、ファブリペロレーザ 21a, 22a, …, 23a から発振したそれぞれの光を光合波素子 24 にて合波した後は、図 1（b）に示したような、狭帯域の  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  のピークが所定間隔で複数並列した波長スペクトルが得られる。つまり、ファブリペロレーザ 21a, 22a, …, 23a のそれぞれから出力される光の波長スペクトルは、これらの狭帯域の  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  のピークにそれぞれ対応している。

【0031】このように、この多波長励起用光源におい

ては、光合波素子 24 のアレイ導波路 26…の選択波長特性（透過特性）によってファブリペロレーザ 21a, 22a, …, 23a の発振波長が決定される。このため、例えば環境温度変化などによって、複数のアレイ導波路 26…の透過波長が同じ波長幅だけ波長軸に平行にシフトしたとしても、そのシフトした透過波長によってファブリペロレーザ 21a, …, 23a の発振波長が決定される。すなわち、光合波素子 24 の特性変化に応じてファブリペロレーザ 21a, 22a, …, 23a の発振波長も変化する。つまり、この例の多波長励起用光源においては、個々のファブリペロレーザ 21a, …, 23a から見た共振器はあくまでも、AWG の出力側に接続された反射素子 30 である。

【0032】その結果、温度変化によって光合波素子 24 の特性が変化しても、光合波素子 24 において、ファブリペロレーザ 21a, …, 23a から発振した光の損失が増加しにくくなる。すなわち、温度変化によって合波光のパワーが変化しにくくなる。また、反射素子 30 は合波光の波長帯の光を反射する特性を有するものであるればよく、高い波長精度は要求されない。

【0033】より具体的には、AWG の透過波長特性は、例えば 0.013nm/℃ の温度依存性を有している。したがって、光合波素子 24 として温度補償を行わずに AWG を用いた場合、使用温度が 50℃ 変化すると、AWG の透過波長は波長軸と平行に 0.65nm シフトする。すなわち、光合波素子 24 から得られる励起光（合波光）の波長が 0.65nm 程度変化する。E D F A においては、図 9 に示したように、使用可能な励起光の波長幅は比較的広い。よって、多数のレーザで励起する場合、この 50℃ の温度変化による 0.65nm 程度の合波光の波長のシフトは励起可能な波長帯の許容幅の中にある。つまり、この程度合波光の波長が変化したとしても、E D F A において、十分に光信号を増幅可能である。

【0034】このように、上述の多波長励起光合波用デバイスおよびこれを組み込んだ多波長励起用光源においては、光合波素子の温度制御を緩和することができ、かつ、反射素子などの構成部品に対してそれ程高い波長精度が要求されない。また、ひとつのレーザに対してひとつの反射素子を用いていた従来の構成と比較して部品数が少ない。よって、部品コストや損失を低減することができ、低コストである。そして、この多波長励起用光源を、例えば図 8（a）、図 8（b）に示した光増幅器に組み込むことによって、波長多重伝送方式の光通信システムなどに適した高出力の光増幅器が得られる。また、本発明の多波長励起光合波用デバイスおよび多波長励起用光源は、このように高出力であるため、光通信分野のみならず、光計測、レーザ加工などに使用する光増幅器およびそのレーザ用の励起光源に好適である。

【0035】図 1（a）に示した多波長励起光合波用デ

バイスにおいて、光合波素子 24 としては、上述のように A WG 以外のものを用いることができる。上述のように光合波素子 24 によってファブリペローザ 21 a, 22 a, … 23 a の発振波長が決定されるのは、A WG 以外の光合波素子においても同様である。図 4、図 5 は光合波素子の他の例を示したもので、この光合波素子はマッハツェンダー型の波長フィルタを組み合わせた実用性の高い素子である。図 4 (a) はマッハツェンダー型波長フィルタの基本形を示したもので、この基本形 40 はふたつの光ファイバカプラ 41, 41 間を、干渉計である第 1 のアームと第 2 のアームにて接続した構造となっている。第 1 のアームと第 2 のアームとは長さが異なる光ファイバ 3, 3 からなり、これらの導波路差は  $\Delta L$  である。光ファイバカプラ 41 は例えば、2 本の光ファイバを並列させ、その途中を融着延伸して製造した入力端子と出力端子とをふたつずつ有する融着延伸型の通常のものを用いることができる。

【0036】この基本形 40 における光の合波分波の動作を、ひとつの入力端子 42 とふたつの出力端子 43 a, 43 b を設定した場合を例として説明する。使用しない端子については、常法によって無反射処理をしておくが好ましい。図 4 (b) はこの基本形 40 における波長-結合度の関係を示したグラフである。結合度とは、例えば 1 本の光ファイバに入力した光が他方の光ファイバに結合する割合を示している。この基本形 40 においては、第 1 ないし第 2 のアームの導波路差  $\Delta L$  によって、このグラフに示されているように、波長に対して結合度が周期的に変化する特性が得られる。つまり、入力端子 42 から光を入力すると、図 4 (b) に示したグラフにおいて、結合度の低い波長の光は第 1 の出力端子 43 a から出力し（第 1 の出力）、結合度の高い波長の光は第 2 の出力端子 43 b から出力する（第 2 の出力）。この波長選択特性は、入出力の端子を逆にした場合も同様であって、例えば上述の場合と逆に、第 1 の入力端子 43 a' と第 2 の入力端子 43 b' とに比較的広い波長帯の光を入力すると、第 1 の入力端子 43 a' と第 2 の入力端子 43 b' とにそれぞれ割当られた、特定波長の狭帯域の光の合波光が出力端子 42' から出力する。

【0037】この基本形 40 は、2 つの異なる波長の光を合波する合波素子として使用できるが、3 つ以上の光を合波する場合には、例えば図 5 (a) に示した構成とする。図 5 (a) は入力端子をふたつ、出力端子をひとつ有する  $2 \times 1$  の基本形 40 を 3 段接続することによって、8 つの波長の光がそれぞれ選択的に透過する導波路を形成し、これらの 8 つの光を合波する光合波素子を構成したものである。前記導波路の入力端子は図中符号 44 a, 44 b, 44 c, …, 44 d で示されている。

【0038】すなわち、この光合波素子は、出力側の 1 段目の基本形のふたつの入力端子のそれぞれに、2 段目の 2 つの基本形の出力端子がそれぞれ接続され、さらに

この 2 段目の基本形の合計 4 つの入力端子のそれぞれに、3 段目の 4 つの基本形の出力端子が接続されている。この光合波素子においては、図 5 (b) に示したように、入力端子 44 a, …, 44 d に光を入力すると、それぞれに割り当てられた  $\lambda 1, \lambda 2, \dots, \lambda 8$  の特定波長の光が選択的に透過する。そして、これらの透過光が合波して出力端子 45 から出力される。

【0039】また、図 1 (a) に示した反射素子 30 としては、上述の例に示した誘電体多層膜を用いたもの以外に、いわゆる反射型のファイバグレーティングを用いることができる。ファイバグレーティングとは、光ファイバの長さ方向に、コアの屈折率やコア径の周期的な変化などの摂動を形成したものである。そして、この周期的な変化の作用によって、特定波長帯の光を反射する特性が得られる。

【0040】図 6 はコアの屈折率の周期的な変化を形成するファイバグレーティングの製造方法の一例を示したものである。まず、中心のコア 3 a と、このコア 3 a よりも低屈折率のクラッド 3 b とを備えた光ファイバ 3 を用意する。コア 3 a はゲルマニウム添加石英ガラスからなり、クラッド 3 b は純石英ガラスまたはフッ素添加石英ガラスからなるものである。光ファイバにおいて、屈折率を増加させる添加物として一般に使用されるゲルマニウムは、特定波長の紫外光を照射すると屈折率が上昇する特性（いわゆるフォトリフレクティブ効果）が大きい。このため、ゲルマニウム添加石英ガラスからなるコア 3 a を備えた光ファイバ 3 は、ファイバグレーティングの素材ファイバとして好適である。一方、符号 5 2 は位相マスクである。この位相マスク 5 2 は石英ガラスなどからなり、その片面には所定の周期で複数の格子 5 2 a … が形成されている。

【0041】ついで、図 6 に示したように、光ファイバ 3 の側面に格子 5 2 a … の形成面が対峙するように位相マスク 5 2 を配置し、この光ファイバ 3 の側面に位相マスク 5 2 を介して紫外光を照射する。すると、格子 5 2 a … によって +1 次回折光と -1 次回折光とが回折して干渉縞が生じ、紫外光の強度パターンが形成される。その結果、前記干渉縞が生じた部分のコア 3 a の屈折率が変化し、この紫外光の強度パターンが半永久的なコア 3 a の屈折率変化としてコア 3 a に転写される。このようにして光ファイバ 3 の長さ方向にコア 3 a の屈折率の周期的な変化が形成されたグレーティング部 5 3 が得られる。

【0042】ファイバグレーティングは、例えば複数のレーザの発振波長域全体をカバーする必要があるため、比較的広い反射波長特性を有するものが好ましい。このため、広い反射波長帯を有する、いわゆるチャープトファイバグレーティングが好適である。チャープトファイバグレーティングは、前記周期的な変化の周期（グレーティングピッチという）が光ファイバの長さ方向におい



て一定ではなく、変化しているものである。例えばグレーティング部の中央付近が最もグレーティングピッチが狭く、グレーティング部の両端に向かってグレーティングピッチが徐々に広がっているものなどが例示できる。グレーティングピッチは、例えば図6に示した例において、格子52a…の周期を変化させることによって調整することができる。また、ファイバグレーティングの反射率、反射波長帯などの特性は、要求される特性によって適宜調整される。ファイバグレーティングの特性は、グレーティングピッチ、グレーティングピッチの变化量、グレーティング長、屈折率変化量などを変化させることによって変更することができる。

#### 【0043】

【実施例】以下、本発明を実施例を示して詳しく説明する。すなわち、図1(a)に示した多波長励起用光源と同様のものを作製した。このとき、ファブリペロレーザ21a, 22a, …, 23aとして、ひとつ当たりの出力(光ファイバ3端のピグテイル出力)が約100mWのものをを用いた。この多波長励起用光源を、図8(b)に示したEDFAに組み込んだところ、光合波素子(AWG)24の透過損失を考慮して、おおよそ350mWのパワーの合波光を、励起光としてエルビウム添加光ファイバに入力することができた。ついで、環境温度を50℃変化させて同様の実験を行ったところ、同様の結果が得られた。

#### 【0044】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、2つ以上の入力端子を有し、異なる2つ以上の波長の光を合波する機能を有する光合波素子の出力端子の出力側近傍に、当該合波光を低反射率で反射する反射素子を挿入して多波長励起光合波用デバイスを構成したものである。また、前記入力端子のそれぞれにレーザを接続することによって多波長励起用光源を構成したものである。その結果以下のような効果が得られる。すなわち、レーザのそれぞれの発振波長は光合波素子によって決定されるため、温度変化などによって光合波素子の透過特性が変化しても、レーザの発振波長がこれに連動して変化する。このため、光合波素子を経て得られる合波光のパワーが温度変化などによって変動しにくく、高出力の励起光を安定に供給することができる。したがって、光合波素子の温度制御を緩和することができ、かつ、反射素子などの構成部品に対して、それ程高い波長精度が要求されない。また、ひとつのレーザに対してひとつの反射素子を用いていた従来の構成と比較して部品数が少ない。よって、部品コストや損失を低減することができ、低コストである。また、本発明の多波長励起用光源を、光増幅器に組み込むことによって、波長多重伝送方式の光通信システムなどに適した高出力の光増幅器が得られる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 図1(a)は本発明の多波長励起光合波用デバイスと、これを組み込んだ多波長励起用光源の実施形態例を示した概略構成図である。図1(b)はこの多波長励起用光源において得られる波長スペクトルを示したグラフである。

【図2】 図1(a)に示した例に用いるAWG形光合波回路の波長-損失特性を示したグラフである。

【図3】 図1(a)に示した例に用いる誘電体多層膜からなる多層膜干渉フィルタを示した斜視図である。

【図4】 図4(a)はマッハツェンダー型波長フィルタの基本形を示した概略構成図である。図4(b)は、この基本形において得られる波長-結合度特性を示したグラフである。

【図5】 図5(a)は図4(a)に示した基本形を組み合わせた光合波素子を示した概略構成図である。図5(b)はこの光合波素子において得られる波長スペクトルを示したグラフである。

【図6】 コアの屈折率の周期的な変化を形成するファイバグレーティングの製造方法の一例を示した説明図である。

【図7】 図7(a)は従来の長距離用光ファイバ通信システムの一例を示した概略構成図、図7(b)は図7(a)に用いる再生中継器の構成の一例を示した概略構成図である。

【図8】 図8(a)は光増幅器を用いた長距離用光ファイバ通信システムの一例を示した概略構成図、図8(b)は光増幅器の一例を示した概略構成図である。

【図9】 1.5μm帯増幅用エルビウム添加光ファイバの吸収スペクトルの一例を示したグラフである。

【図10】 ファブリペロレーザの出力の発振波長を示したグラフである。

【図11】 図11(a)は、ファブリペロレーザと反射素子からなるレーザ発振素子の概略構成図である。図11(b)はこのレーザ発振素子にて得られる光の波長スペクトルを示したグラフである。

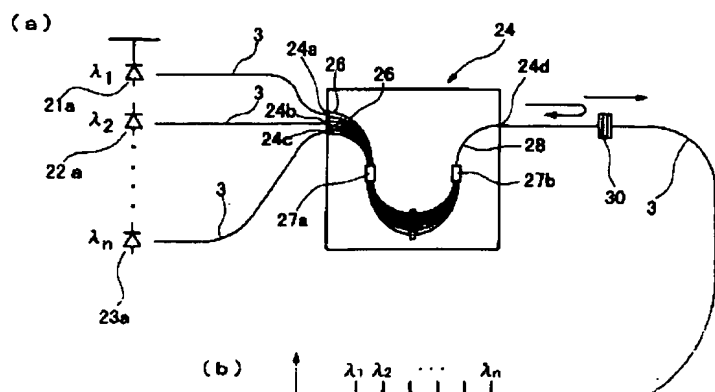
【図12】 図12(a)は、図11(a)に示したレーザ発振素子を用いた波長多重方式の多波長励起用光源の一例と、これを組み込んだ光増幅器の概略構成図、図12(b)はこの多波長励起用光源において得られる励起光の波長スペクトルを示したグラフである。

【図13】 図12(a)に示した光合波素子の一例として、アレイド・ウェーブガイド・グレーティング形光合波回路(AWG)を示した説明図である。

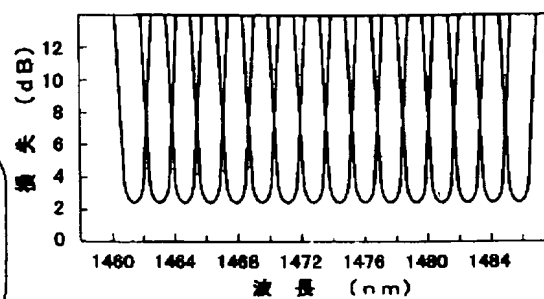
#### 【符号の説明】

10…光増幅器、11…希土類添加光ファイバ、12…光合波素子、14…励起光源、15…アイソレータ、21a, 22a, 23a…ファブリペロレーザ(レーザ)、24…光合波素子、24a, 24b, 24c…入力端子、24d…出力端子、30…反射素子。

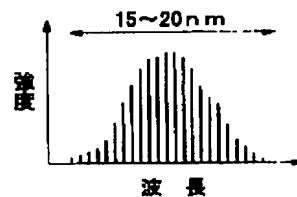
【図1】



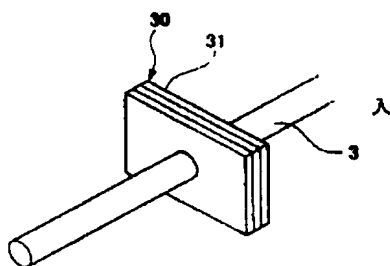
【図2】



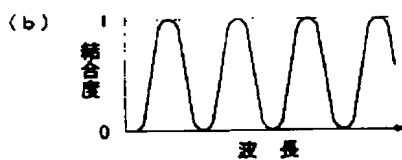
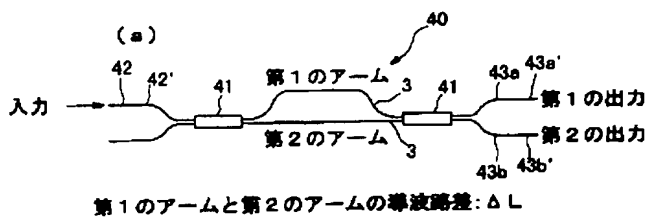
【図10】



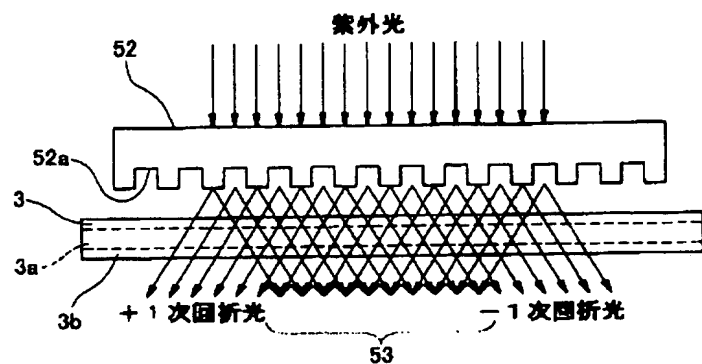
【図3】



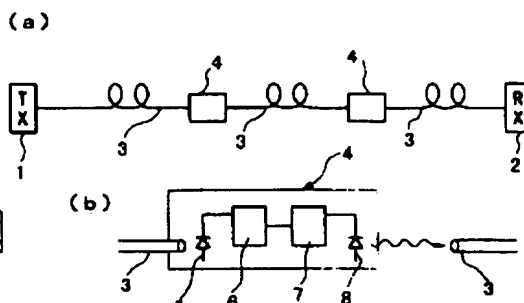
【図4】

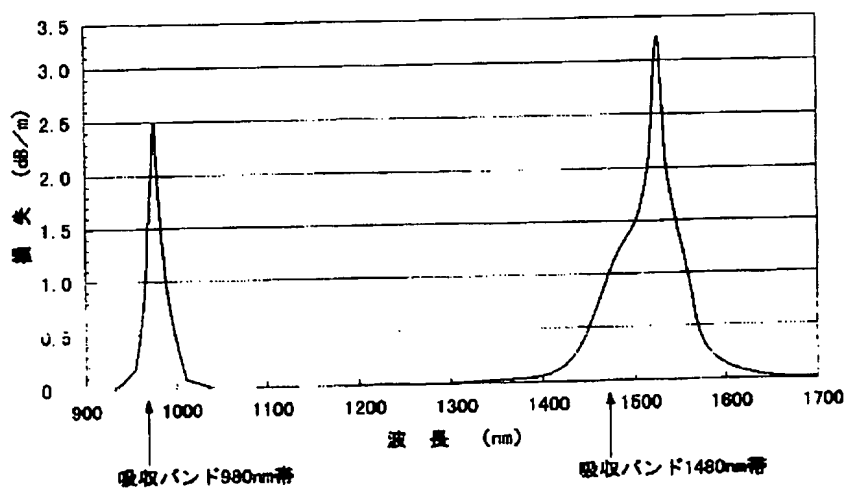


【図6】

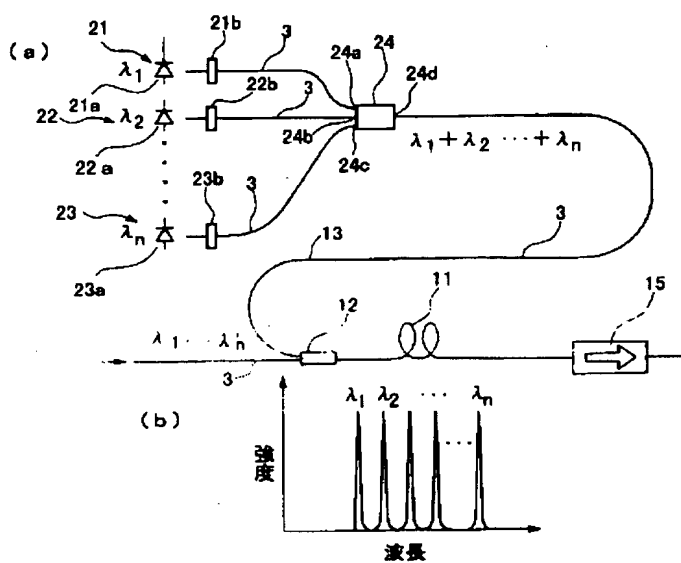


【図7】

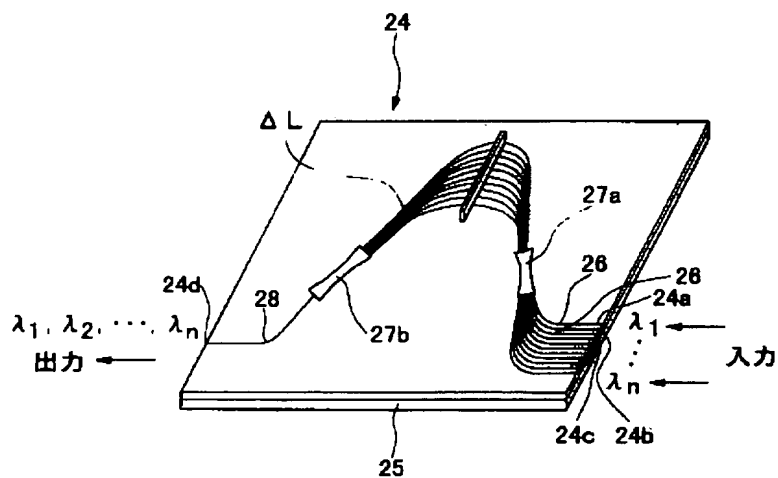




【図 12】



【图 13】



(72)発明者 山崎 成史  
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉工場内  
Fターム(参考) 5F072 AB13 HH05 JJ12 KK07 RR01  
YY06 YY11 YY17